



深度画像のビュー変換を用いた路面の段差検知

沢田蒼太¹⁾, 入山太嗣¹⁾, 小室孝¹⁾

1) 埼玉大学 理工学研究科 (〒 338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255)

概要: 本論文では、深度画像のビュー変換を用いた路面の段差検知を行う視覚障害者の歩行支援のための手法を提案する。本手法では、取得した深度画像をもとに点群を生成し、回転させることでビューを変換し、2次元平面上へ平行投影することで俯瞰画像を得る。俯瞰画像を格子状に分割し、各範囲で画素値の分散を計算し、閾値以上の分散を持つ範囲に段差が存在するとして検知を行う。本手法を用いて、4つの異なる場所で実験を行った結果、段ボール箱や階段を段差として検知することができた。

キーワード: 歩行支援, 俯瞰画像, 点群

1. はじめに

視覚障害者の人々は、視覚に関する情報を得ることができないため、自身の周辺環境を把握する能力が制限されており、自立移動が困難である。そのため、視覚障害者が日常生活において周辺環境を認識するためには、視覚情報を聴覚や触覚など、他の感覚情報へと変換する支援が必要不可欠である。

現在、視覚障害者の周囲の環境を認識する支援としても普及しているのは白杖である。白杖は、地面をなぞったり、路面上の点字ブロックの場所や自身の歩行先にある障害物の情報を杖から伝えられる振動により認識することが可能である。しかし、白杖では取得しにくい環境情報の提供や白杖を使用せずに自律歩行が可能となるように、視覚障害者の周辺環境認識のための支援機器に関する研究が多く行われている。

センサから取得した情報をもとに、音や触覚などの他の感覚へ変換を行うことで、周辺環境の情報を伝達し、障害物の回避やナビゲーションを行うシステムの研究がある [1][2]。これらは、距離センサから取得した距離に基づいて障害物を検知し、音声や振動などの他の感覚へ変換しフィードバックをすることでナビゲーションを行うシステムである。複数の距離センサを用いることで、複雑な環境においてもナビゲーションを可能としている。

カメラから取得した画像をもとに、周辺環境の情報を伝達し、障害物の回避やナビゲーションを行うシステムが開発されている [3][4][5]。これらは、カメラや深度カメラから取得した画像をもとに、障害物に関する情報を抽出し、他の感覚へ変換し伝達するシステムである。カメラを用いることで、より複雑な情報を扱うことができ、障害物の情報のみならず、物体の識別も可能としている。

これらのシステムは、障害物との衝突回避を主としているものが多く、転倒や転落を引き起こす可能性のある、段差に着目したシステムは少ない。視覚障害者の歩行中に発生する事故の半数近くは、物体との衝突事故であるが、段差によって生じる転倒事故、転落事故も少なくない [6]。特

に、駅のホームからの転落事故は、電車と接触してしまう可能性があり非常に危険である。

本研究では、深度画像のビュー変換を用いて路面の段差を検知する手法を提案する。深度画像をもとに作成された点群を、真上からのビューへ変換し、格子状に分割した各範囲の分散を計算することで段差の検知を行う。本手法により、段差を検知し転倒事故や転落事故を未然に防ぐことを目指す。

2. 提案手法

本研究は、視覚障害者の歩行支援を目的としている。したがって、本手法は白杖に取り付けて使用する。路面の情報を得るために、白杖の傾きと深度カメラの視線方向が平行になるように取り付ける。白杖は図1のように手に持ち、先端で路面をなぞったり、叩くことで情報を得るため、斜めに傾けて使用される。したがって、白杖の傾きと平行になるように取り付けられた深度カメラの視線方向は斜め下向きとなる。この深度カメラから取得した深度画像を用いて俯瞰画像を作成する。

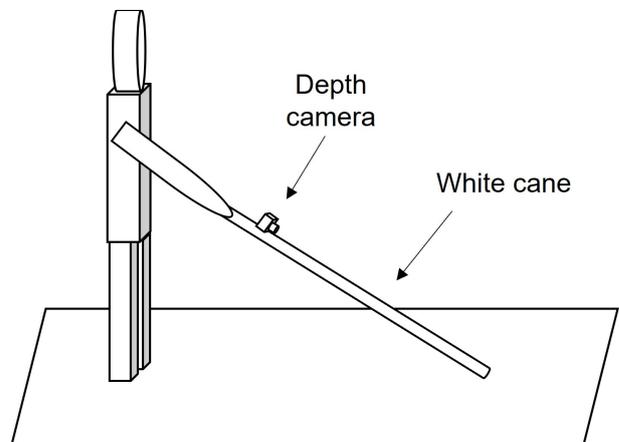


図 1: 白杖に取り付けた深度カメラ

2.1 俯瞰画像の作成

深度カメラから取得した画像をもとに俯瞰画像を作成する。深度画像から作成した点群を、図2のように、 z 軸と深度カメラの視線方向が平行となるように原点を中心に回転させることで、ビューの変換を行う。回転角は、深度カメラの背面に取り付けられた加速度センサによって計測された角度を用いた。

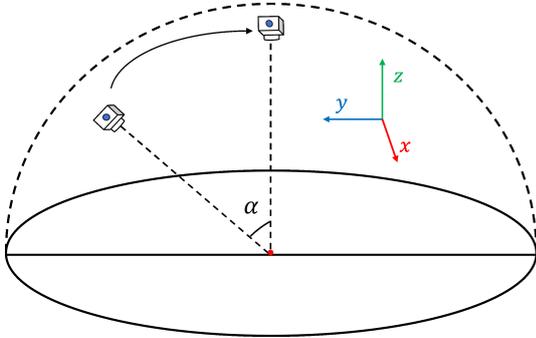


図2: ビュー変換の概要

加速度センサによって計測された角度を α とし、以下の式によってビュー変換後の点群 $\{(x_r, y_r, z_r) | x_r, y_r, z_r \in \mathbf{R}\}$ を得る。

$$\begin{pmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (1)$$

ビュー変換後の点群を2次元平面上に平行投影し、それぞれの軸ごとに正規化した後、画像サイズとグレースケール画像の画素値の最大値を掛け、空画像に画素値を格納することで俯瞰画像を作成する。しかし、ビュー変換後の路面の点群は図3の左のように台形に表示されるため、平行投影を行うと画像上の路面も台形に表示される。したがって、極座標 (θ, r) へ座標変換し、軸ごとに正規化を行うことで、台形に表示されている路面の点群を画像全体に表示させる。

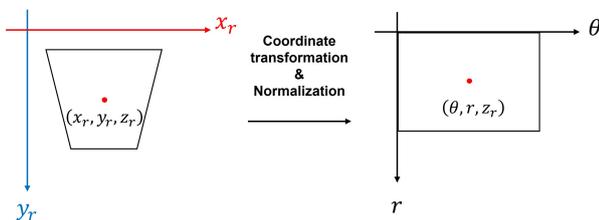


図3: (θ, r) 平面への投影

θ, r は以下の式で得る。極座標の原点 x_o, y_o は $90 - \alpha$ 回転させた位置からの照準点 (図2の赤点) を複数回測定し、調整を行った。

$$\theta = \arctan 2((y_r - y_o), (x_r - x_o)) \quad (2)$$

$$r = \sqrt{(x_r - x_o)^2 + (y_r - y_o)^2} \quad (3)$$

式から得られた θ, r と z_r を用いて、俯瞰画像を作成する。

2.2 段差検知

俯瞰画像を $n \times n$ の格子状に分割し、各範囲で画素値の分散を計算することで、段差検知を行う。ビュー変換の際、 z 軸とカメラの視線方向を平行となるように変換したため、ビュー変換された位置から近いほど、 z_r は大きくなる。画素値を得る際に、 z_r を正規化して用いるため、画素値は z_r のスケールに対応しており、段差が存在する場所としない場所では、画素値に差が発生する。したがって、画素値の分散を計算することで、路面の高度の分散を得ることができる。俯瞰画像作成の際、対応する深度値が得られなかった箇所に発生する欠落画素に起因する検知精度への影響を防ぐために、欠落画素を除いて計算を行う。各範囲の分散の値が閾値を超えた範囲に段差が存在するとして、検知する。

3. 実験

3.1 実験条件

本実験では、4ヶ所の異なる場所で本手法を用いた段差検知を行った。場所は、広場、室内、階段の上、階段の下である。実験は、図4のように、深度カメラの背面に加速度センサを固定し、台車の取っ手にカメラアームを付け、カメラアームの先端に深度カメラを固定して行った。加速度センサにより計測された角度は48度前後である。分散の閾値は40に設定し、 5×5 の格子状に分割して計算を行った。本実験では段差が検知された領域の可視化を行った。

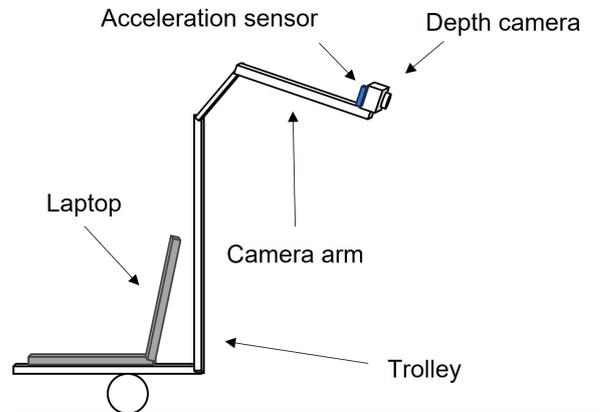


図4: 実験環境

3.2 検知結果の可視化

俯瞰画像を 5×5 の格子状に分割し、各範囲の画素を計算された分散の値で塗りつぶす。分散値が画素値の最大値 (255) を超えた場合は、最大値で画素を塗りつぶす。また、段差が検知された範囲を赤枠、その他の範囲を白枠で囲むことで、検知された範囲を可視化した。俯瞰画像は路面を画像全体に表示させるために、 (θ, r) へ変換を行ったため、図5の左のように、検知結果の可視化画像 $I_{\theta r}$ も (θ, r) 平面に投影されている。ビュー変換後の点群に俯瞰画像と検知結果の可視化画像を合わせるために、俯瞰画像と可視化画像 $I_{\theta r}$ を (x, y) 平面へ変換することで、ビュー変換後の俯瞰画像と検知範囲が扇形に表示された可視化画像 I_{xy} を得る。

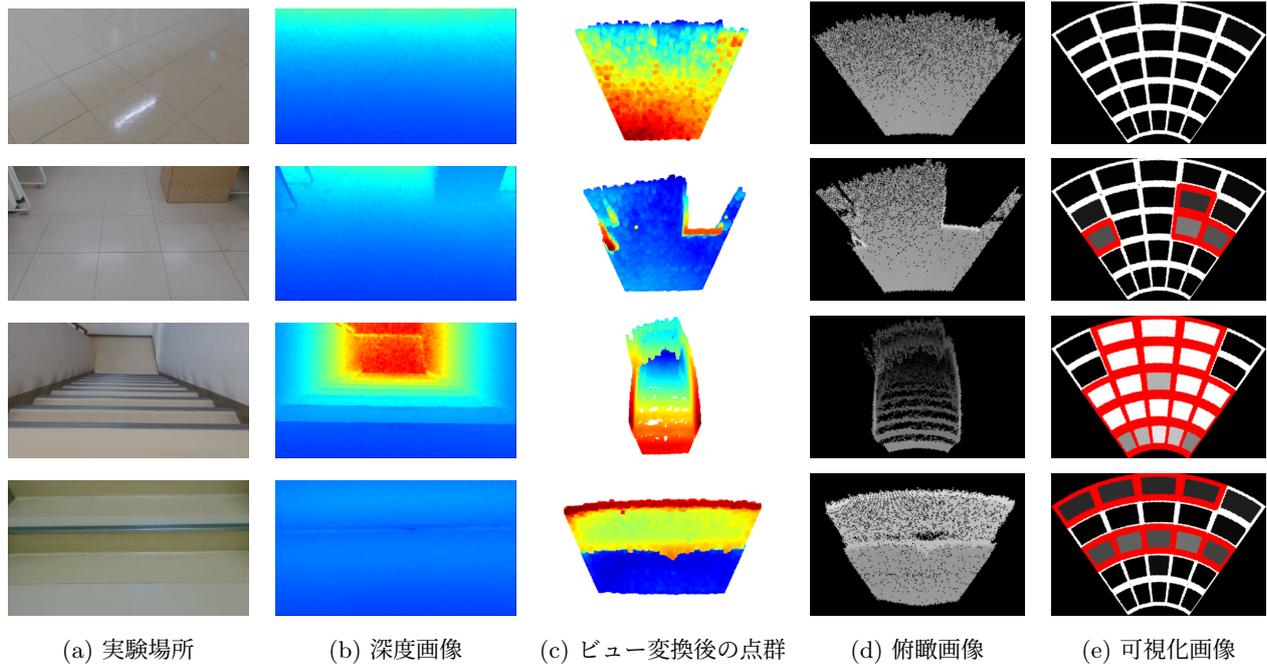


図 6: 実験結果

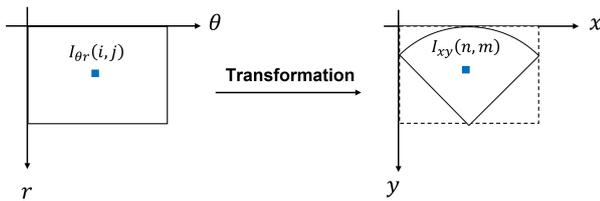


図 5: (x, y) 画像平面への投影

(θ, r) 平面に投影した俯瞰画像の各座標 i_θ, i_r を用いて、以下の式で変換を行い、 (x, y) 画像平面上の座標 (i_x, i_y) を計算する。可視化画像の扇形の中心角 C_{hfov} はカラーカメラと深度カメラの水平視野角を考慮し、 70° とした。

$$i_x = i_r \cos \frac{i_\theta}{i_{\theta_{max}}} C_{hfov} \quad (4)$$

$$i_y = i_r \sin \frac{i_\theta}{i_{\theta_{max}}} C_{hfov} \quad (5)$$

得られた座標 (i_x, i_y) を用いて、俯瞰画像と検知範囲が扇型に表示された可視化画像 I_{xy} を得る。

3.3 実験結果

広場、室内、階段の上、階段の下の4つの異なる場所で実験を行った結果を図6に示す。(a)は実験場所、(b)は実験場所の深度画像、(c)はビュー変換後の点群、(d)はxy平面へ投影した俯瞰画像、(e)はxy平面へ投影した検知結果の可視化画像となっている。

図6の1段目の実験場所を見ると、広場は段差がなく、安全に歩行できる環境であったため、検知されなかった。室内では、図6の2段目の実験場所に映っている段ボール箱が置かれている範囲を段差として検知した。図6の2段目

のビュー変換後の点群を見ると、段ボール箱が置かれている位置の点の色は、周辺とは異なっている。そのため、周辺の画素値との差が大きく、分散の値が大きくなったと考えられる。

階段の上では、段が映っている範囲を段差として検知した。図6の3段目のビュー変換後の点群を見ると、段が変化すると点の色が変化している。したがって、俯瞰画像を作成すると、段ごとの画素値の差が大きくなり、分散が閾値を超えた範囲が多く存在した。階段の下でも、段差が検知された。こちらも同様にビュー変換後の点群を見ると、段が変化すると点の色の変化が激しいため、画素値の差が大きく、分散値が大きくなったと考えられる。

4. まとめ

本研究では、視覚障害者の歩行支援のための深度画像のビュー変換を用いて路面の段差を検知する手法を提案した。4つの異なる場所で実験を行った結果、室内に置かれている段ボールや椅子などの障害物、階段を段差を検知することができた。

今後の課題として、様々な環境での実験を行うこと、また本研究の手法を用いた歩行支援デバイスを作成することが挙げられる。

参考文献

[1] Shachar Maidenbaum, Shlomi Hanassy, Sami Aboud, Galit Buchs, Daniel-Robert Chebat, Shelly Levy-Tzedek and Amir Amedi: The “EyeCane”, a new electronic travel aid for the blind: Technology,

- behavior & swift learning, *Restorative Neurology and Neuroscience*, Vol. 32, No. 6, pp. 813-824, 2014.
- [2] Andreas Wachaja, Pratik Agarwal, Mathias Zink, Miguel Reyes Adame, Knut Moller and Wolfram Burgard : Navigating blind people with a smart walker, *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 6014-6019, 2015.
- [3] Shrinivas Pundlik, Matteo Tomasi, and Gang Luo : Evaluation of a portable collision warning device for patients with peripheral vision loss in an obstacle course, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, Vol. 56, No.4, pp. 2571-2579, 2015.
- [4] Bing Li, Juan Pablo Muñoz, Xuejian Rong, Qingtian Chen, Jizhong Xiao, Yingli Tian, Aries Arditì and Mohammed Yousuf : Vision-based mobile indoor assistive navigation aid for blind people, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 18, No. 3, pp. 702-714, 2019.
- [5] Aaron Raymond See, Bien Grenier Sasing and Welsey Daniel Advincula : A smartphone-based mobility assistant using depth imaging for visually impaired and blind., *MDPI Special Issue "Intelligent Systems and Applications of Data Science and Internet of Things Techniques II"*, 2022.
- [6] 安部信行, 橋本典久 : 視覚障害者の歩行環境整備のための歩行事故全国調査, *八戸工業大学紀要*, Vol. 1, pp. 84-92, 2005.